

УДК 621.43.545

А.М. Божок, д-р техн. наук, К.Е. Долганов, д-р техн. наук

## ДВУХИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИХ ДЛЯ ПРИВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

### Введение

Для привода электрических генераторов переменного тока аварийных и резервных электростанций, которые работают в течение года сравнительно небольшое число часов, можно использовать дизели тракторов, присоединяя их к электрическому генератору через вал отбора мощности трактора, когда возникает потребность в работе этих электростанций.

Для этого необходимо применить промежуточный редуктор для согласования частоты вращения коленчатого вала дизеля с синхронной частотой электрического генератора и улучшить показатели системы автоматического регулирования тракторного дизеля чтобы обеспечить выполнение требований ГОСТ 13822-82 и ГОСТ 10511-83 [1, 2] к системам автоматического регулирования частоты вращения первичных двигателей электрических агрегатов и электростанций, а именно: наклон регуляторной ветви 3%, заброс частоты вращения после мгновенного

сброса и наброса нагрузки не более 10%, длительность переходных процессов не более 5 с.

Для решения этой задачи на кафедре «Тракторы, автомобили и энергетические средства» Подольской аграрно-технической академии (ПГАТА, г. Каменец-Подольский) разработан двухимпульсный регулятор частоты вращения, в котором используется дополнительное регулирующее воздействие по нагрузке дизеля.

### Двухимпульсный регулятор частоты вращения

На рис. 1 показана принципиальная схема двухимпульсного регулятора частоты вращения, в которой используется серийный всережимный регулятор частоты вращения по отклонению регулируемого параметра топливного насоса высокого давления (ТНВД) типа УТН-5, широко применяемого на тракторах.

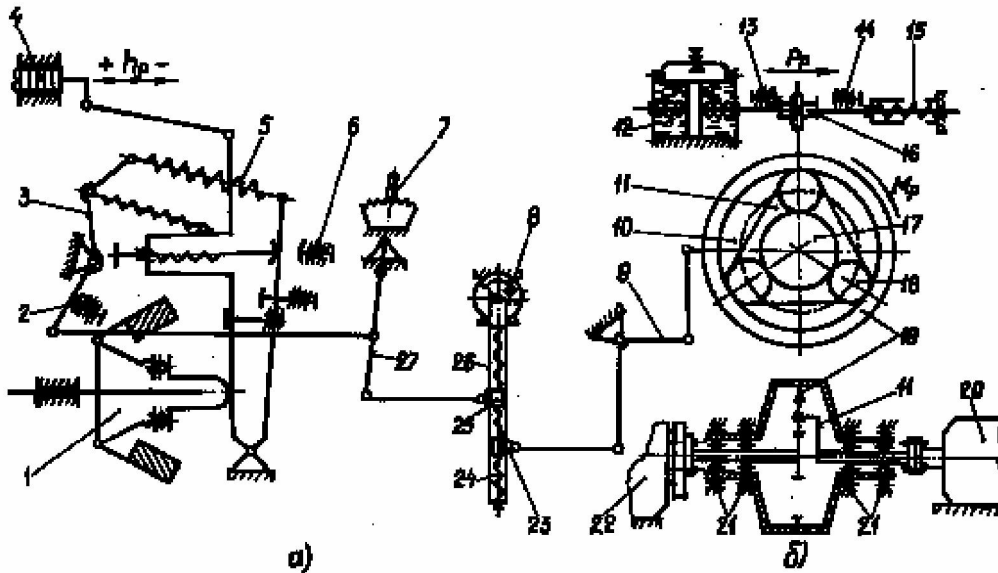


Рис. 1. Принципиальная схема двухимпульсного регулятора:

а) регулятор; б) планетарный редуктор.

1 – базовый центробежный всережимный регулятор частоты вращения дизеля; 2 – винт ограничения максимальной частоты вращения дизеля; 3 – рычаг управления регулятором частоты вращения; 4 – рейка ТНВД; 5 – пружина регулятора частоты вращения; 6 – винт ограничения максимальной деформации пружины регулятора; 7 – рычаг управления дизелем; 8 – маховичок для настройки наклона регуляторной ветви; 9 – двухплечий рычаг изменения направления передачи импульсов по нагрузке; 10 – планетарный редуктор, он же измеритель нагрузки; 11 – ведомое звено редуктора; 12 – гидравлический демпфер; 13, 14 – ограничители поворота остановленного звена планетарного редуктора; 15 – пружина измерителя нагрузки; 16 – соединительное звено измерителя нагрузки; 17 – ведущая шестерня редуктора; 18 – сателлиты; 19 – остановленное звено редуктора; 20 – электрогенератор; 21 – подшипники; 22 – дизель; 23, 25 – ползуны; 24 – винт; 25 – двулучий рычаг; 26 – суммирующий рычаг;  $h_p$  – перемещение рейки ТНВД

В двухимпульсный регулятор входят: серийный центробежный регулятор 1, планетарный редуктор и он же измеритель нагрузки 10, двулучий рычаг 9 изменения направления передачи импульсов по нагрузке, рычаг 26 с устройством для настраивания уклона регуляторной ветки, суммирующий рычаг 27 и рычаг управления дизелем 7. Регулятор 1 действует на рейку 4 ТНВД. Пружина 5 регулятора соединена с рычагом управления регулятором 3, с помощью которого можно изменять предварительное натяжение пружины 5, чем обеспечивается всережимное действие регулятора.

Рычаг 26 имеет продольный прорез, в который установлен винт 24 с правой и левой резьбой с размещенными на них ползунами 23, 25. Винт 24 можно вращать при помощи маховика 8 с конической зубчатой передачей, обеспечивая ползунам 23, 25 сближение или удаление при перемещении их вдоль прореза рычага 26.

Редуктор 10 установлен на подшипниках 21 с возможностью поворачиваться вокруг своей оси, остановленная шестерня 19 жестко прикреплена к его корпусу и шарнирно – к соединительному звену 16. Крутящий момент от ведущей шестерни 17 передается к ведомому звену 11 редуктора через сателлиты 18. Во время работы редуктора на его корпус через остановленную шестерню 19 передается реактивный момент  $M_p$ , который создает на звене 16 силу  $P_p$ . Эта сила уравнивается пружиной 15. Под действием силы  $P_p$  пружина 15 деформируется и редуктор поворачивается на некоторый угол, который зависит от величины момента  $M_p$  и силы  $P_p$ . Этот поворот передается на рычаг 9 и дальше через рычаг 26 на рычаг 3 управления регулятором. Максимальный угол поворота корпуса редуктора ограничивается винтами 13, 14.

Регулятор работает таким образом. Рычаг управления 7 устанавливают в такое положение, при котором рычаг 3 упирается в винт 2, что соответствует работе дизеля на номинальном скоростном режиме при полной нагрузке (точка А, рис. 2). Когда включить полную нагрузку электрогенератора 20, корпус редуктора повернется, пружина 15 сожмется и соединительное звено 16 выйдет на упор в винт 14. Если зафиксировать редуктор в этом положении, то будет работать только регулятор 1. В данном случае, по мере уменьшения нагрузки, частота вращения дизеля будет увеличиваться, вследствие чего будет формироваться регуляторная ветвь АВ с положительным наклоном. А если корпус редуктора освободить, то по мере уменьшения нагрузки он будет поворачиваться под действием пружины 15 и поворачивать рычаги 9, 26, 27, а через них и рычаг 3 в сторону уменьшения натяжения пружины 2, что приведет к смещению начала действия регулятора 1 из точки А в точки  $A^I, A^{II}, A^{III}$  и соответственно смещению регуляторной ветви в положения  $A^I B^I, A^{II} B^{II}, A^{III} B^{III}$ . В результате действия двух регуляторов частота вращения коленчатого вала дизеля на уравновешенных режимах будет изменяться незначительно (ветвь  $AB^I$ ) или останется постоянной (ветвь  $AB^{II}$ ) и даже может уменьшаться, вследствие чего регуляторная ветвь получит отрицательный наклон (ветвь  $AB^{III}$ ). Это зависит от передаточного числа рычажной передачи от корпуса редуктора 10 к рычагу 3. Это передаточное число можно изменять при помощи маховика 8 как на остановленном дизеле, так и во время его работы, и таким образом изменять наклон регуляторной ветви.

Как видно из приведенного выше описания, для присоединения к серийному регулятору частоты вращения измерителя нагрузки не требуется вносить изменения в конструкцию регулятора.

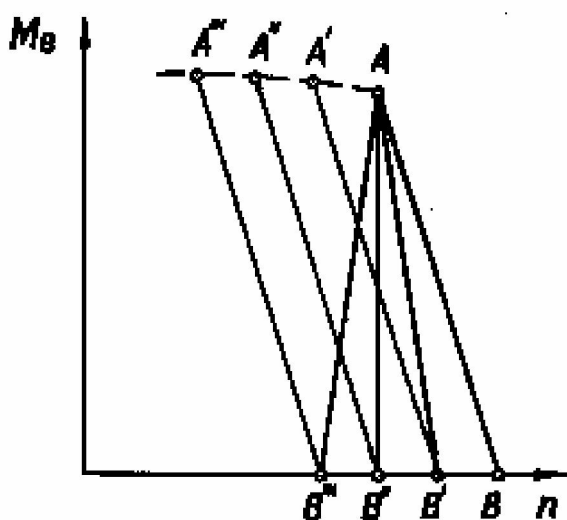


Рис. 2. К формированию регуляторных ветвей в двухимпульсном регуляторе

### Исследование двухимпульсной САРЧ дизеля

Изготовлен экспериментальный образец двухимпульсного регулятора и приведены исследования на 4-цилиндровом тракторном дизеле 4Ч11/12,5 (ММЗ Д-50) с ТНВД УТН-5. Дизель установлен на электрическом тормозном стенде КИ-1363 Б.

Разработаны математическая модель САРЧ дизеля и программы для проведения вычислительных исследований статики и динамики САРЧ на ПЭВМ (программа здесь не приводится).

На рис. 3 показаны расчетные скоростные характеристики дизеля 4Ч11/12,5 (ММЗ Д-50) с двухимпульсным регулятором, на которые нанесены точки, полученные во время экспериментов. Характеристики рассчитаны для отрицательного 1, нулевого 2 и положительного 3 наклонов регуляторной ветви (соответственно наклоны – 0,059; 0; 0,059. На рис. 1:  $n$  — частота вращения коленчатого вала дизеля, а  $M_e$  — эффективный крутящий момент. Видно, что опытные точки хорошо совпадают с расчетными характеристиками. При всех этих наклонах САРЧ была устойчивой.

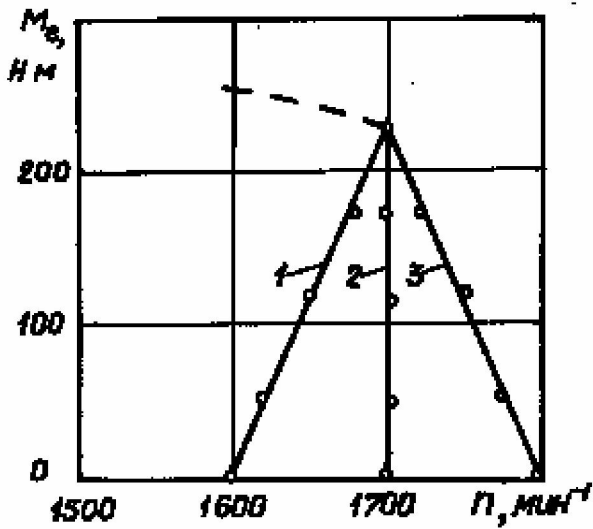


Рис. 3. Регуляторные ветви скоростной характеристики дизеля Д-50 с двухимпульсным регулятором частоты вращения

На рис. 4 показаны кривые переходных процессов в этой же САРЧ после мгновенного сброса и наброса 100% нагрузки, записанные на осциллографе (сплошные линии) и рассчитанные с помощью математической модели на ПЭВМ (штриховые линии). Сравниваются переходные процессы с серийным одноимпульсным регулятором с наклоном регуляторной ветви 5,9% (кривые 1) и с опытным двухимпульсным регулятором с нулевым наклоном регуляторной ветви (кривые 2).

Прежде всего, отметим хорошее совпадение опытных и расчетных кривых, что свидетельствует об адекватности математической модели. А во-вторых, из рис. 4 видно, что с двухимпульсным регулятором с нагрузкой и без нагрузки частота вращения  $n$  одинаковая, равная  $1700 \text{ мин}^{-1}$ , а с одноимпульсным регулятором с нагрузкой она равна  $1700 \text{ мин}^{-1}$ , а без нагрузки –  $1800 \text{ мин}^{-1}$ . Забросы частоты вращения с одноимпульсным регулятором 7,3%, а с двухимпульсным – 4,4%. Переходные процессы в обоих случаях происходят с одним забросом частоты вращения, что свидетельствует о большом запасе устойчивости САРЧ.

Длительность переходных процессов с одноимпульсным регулятором составляет 1,5 с, а с двухимпульсным – 1,0 с.

По показателям переходных процессов оба регулятора обеспечивают выполнение требований упомянутых в начале статьи ГОСТов. Но с одноимпульсным регулятором — слишком большой наклон

регуляторной ветви. Но, если его уменьшить, показатели переходного процесса ухудшатся и САРЧ может потерять устойчивость.

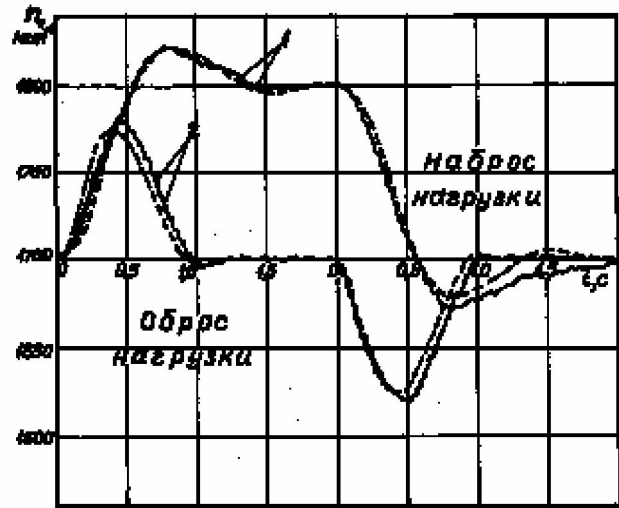


Рис. 4. Переходные процессы в САРЧ тракторного дизеля Д-50:

1 – с одноимпульсным регулятором;  
2 – с двухимпульсным регулятором;

----- расчетные;

————— опытные;

$t$  — время

### Заключение

Разработанный двухимпульсный регулятор частоты вращения с использованием дополнительного регулирующего воздействия по нагрузке, измеряемой с помощью планетарного редуктора, обеспечивает существенное улучшение статических и динамических показателей САРЧ дизеля с обычным регулятором частоты вращения по отклонению регулируемого параметра. При этом в конструкцию серийного регулятора не требуется вносить изменения.

### Список литературы:

1. ГОСТ 13822-82. Электроагрегаты и передвижные электростанции, дизельные. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1983.- 45 с.
2. ГОСТ 10511-83. Системы автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) судовых, тепловозных и промышленных дизелей. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 15 с.